Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 1, Spring 2023, p. 29-46

Investigation of Physiological and Yield Characteristics of Quinoa as Affected by Different Levels of Irrigation and Plant Density

M. Mostafaee[1], M. Jami Al-Ahmadi[2,3*], M. Salehi[4], A. Shahidi[5]

Received: 25-12-2021 Revised: 07-06-2022 Accepted: 20-06-2022	**How to cite this article:** Mostafaee, M., Jami Al-Ahmadi, M., Salehi, M., & Shahidi, A. (2023). Investigation of Physiological and Yield Characteristics of Quinoa as Affected by Different Levels of Irrigation and Plant Density. *Iranian Journal of Field Crops Research, 21*(1), 29-46. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.74044.1126

Introduction

Quinoa is a dicotyledonous plant from the Amaranthaceae family, with favorable nutritional value and a high potential for growth and production in adverse environmental conditions. Despite being three carbon, it has high water consumption efficiency and as a new crop, due to its wide adaptation to different environment conditions such as salinity and drought, as well as being premature, it is suitable for planting in arid and desert areas and has many factors. Genetic and environmental factors such as genotype, density, arrangement and planting date, soil salinity, and drought stress affect yield. Among these, drought is one of the most important non-living stresses that cause great damage to crops and horticulture in the world every year. And especially Iran, which is considered an arid and semi-arid country. The effect of moisture stress on plants varies depending on which stage of plant growth occurs and plants can work through various mechanisms such as reducing growth parameters, closing pores, reducing photosynthesis, changing regulatory mechanisms of ion transport, and increasing activity. Antioxidant enzymes cope with drought stress to some extent, although such mechanisms are energy-intensive and cause a decline in performance.

Materials and Methods

In order to investigate the optimal density of quinoa at different levels of irrigation, a factorial experiment was conducted based on completely randomized design with three replications at the research farm of the Faculty of Agriculture, Birjand University. The first factor was irrigation levels (based on 50, 75, and 100% water requirement) and the second factor was plant density at 5 levels (40, 60, 80, 100, and 120 plants m^{-2}). Measurement traits included relative leaf water content, stomatal conductance, electrolyte leakage, number of branches, number of grains per branch, branch weight, 1000-grain weight, grain yield, water use efficiency, and grain protein.

Results and Discussion

The results showed that the yield components in response to low irrigation conditions were significantly

1- PhD Student in Plant Physiology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
3- Plant and Environmental Stresses Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran
4- Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
5- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
(*- Corresponding Autor Email: mjamialahmadi@birjand.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.74044.1126

reduced, so that the highest 1000-seed weight, number of branches, number of seeds per branch, branch weight and yield at the level of 100% water requirement were, respectively, 0.1 (g), 1368.4 (branching per square meter), 132.64 (grains per branching), 2377.8 (grams per square meter) and 3265.25 (kg ha^{-1}) have been obtained. The maximum orifice conductivity measured at 35.66 (mol CO_2 per square meter) was obtained at the beginning of flowering at 100% water requirement. Also, with decreasing irrigation level, physiological traits including relative leaf water content decreased significantly and traits such as electrolyte leakage and grain protein increased. The optimal density at the irrigation level of 100, 75, and 50% of water requirement were 113, 105, and 80 plants per square meter, respectively. The interaction of irrigation levels and density also showed that the highest yield was 100% of water requirement and density of 100 plants with 4226.52 kg ha^{-1}. The results showed that at the irrigation levels of 100 and 75% of the water requirement, the highest yield was obtained at a density of 100 plants and with a decrease in density at these levels by 61.2 and 73.2%, respectively, was associated with a decrease in yield, but at the level of 50%. The highest yield was obtained at a density of 80 plants, which was accompanied by a decrease in yield to 40 plants with a yield of 73.5%. The results also show an increase in optimal density with increasing irrigation level, so that the most optimal density at the irrigation level of 100% of the water requirement is 113 plants per square meter and with increasing the stress to 75 and 50% of the water requirement, respectively, density Optimal yields of 105 and 80 plants per square meter have been achieved.

Conclusion

In general, the results show that lack of moisture has an adverse effect on quinoa yield such as 1000-seed weight, branch weight, number of seeds per branch, and number of branches in the main inflorescence and reduces the optimal plant density.

Keywords: Drought stress, Optimal density, Seed protein, Stomatal conductance, Water use efficiency

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۱، شماره ۱، بهار ۱٤۰۲، ص ٤٦-۲۹

بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکردی گیاه کینوا تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته

مسلم مصطفائی[۱]، مجید جامی الاحمدی[۲، ۳*]، معصومه صالحی[٤]، علی شهیدی[٥]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۳۰

چکیده

کینوا به‌عنوان یک گیاه زراعی جدید، به دلیل سازگاری وسیع به شرایط مختلف اقلیمی از جمله خشکی و نیز زودرس بودن، گیاهی مناسب برای کاشت در مناطق خشک است. با هدف بررسی تراکم بهینه کینوا در سطوح مختلف آبیاری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام گرفت. فاکتور اول سطوح آبیاری (برمبنای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیازآبی) و فاکتور دوم تراکم بوته در ۵ سطح (۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ بوته در متر مربع) بود. صفات اندازه‌گیری شامل محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، نشت الکترولیت، تعداد انشعاب، تعداد دانه در انشعاب، وزن انشعاب، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، کارایی مصرف آب و پروتئین دانه بود. نتایج نشان دادکه اجزای عملکرد در مواجهه با شرایط کم‌آبیاری، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، نتایج سطوح آبیاری و تراکم نشان داد که بالاترین عملکرد در ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تراکم ۱۰۰ بوته به میزان ۴۲۶۸/۵۲ کیلوگرم در هکتارحاصل شد و همچنین نشان داد که درسطوح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی نیز بالاترین عملکرد در تراکم ۱۰۰ بوته حاصل شد و با کاهش تراکم به میزان ۷۳/۲ درصد با کاهش عملکرد همراه بود ولی در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی بالاترین عملکرد در تراکم ۸۰ بوته حاصل شد که با کاهش تراکم به ۴۰ بوته عملکرد به میزان ۷۳/۵ درصد با کاهش همراه بود. بهینه‌ترین تراکم در سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، به‌ترتیب ۱۱۳، ۱۰۵ و ۸۰ بوته در متر مربع بود. در این تحقیق برای تعیین بهترین تراکم در سطوح مختلف آبیاری این آزمایش طراحی شد که با توجه به نتایج حاصل می‌توان گفت که بهینه‌ترین تراکم در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی به میزان ۱۱۳ بوته در مترمربع حاصل شده و با افزایش میزان تنش به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب تراکم بهینه به میزان ۱۰۵ و ۸۰ بوته در متر مربع حاصل شده است.

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه، تراکم بهینه، تنش خشکی، کارایی مصرف آب، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* Willd گیاهی دولپه از خانواده تاج خروسیان می‌باشد. کینوا از نظر ژنتیکی گیاهی آلوتتراپلوئیدی (۲n=۴x=۳۶) است که در بیشتر صفات کیفی، از خود رفتار دیپلوئیدی نشان می‌دهد و از گروه گیاهان مسیر فتوسنتز ۳ کربنه[۶] می‌باشد (Wilson & Heiser, 1979). در سال ۲۰۲۰ میزان سطح زیر کشت کینوا ۱۸۸۸۷۸ هکتار و حجم تولید این محصول، ۱۷۵۱۸۸ تن در جهان بوده است (Fao stat, 2020). ارزش غذایی بسیار بالای دانه کینوا موجب مقایسه آن توسط سازمان خواروبار جهانی با شیر خشک گردیده است. دانه‌های کینوا محصول اصلی این گیاه است. بذور کینوا به‌طور متوسط دارای ۱۶ درصد پروتئین هستند که بالاتر از مقدار پروتئین در بذر سایر غلات است. از سوی دیگر، پروتئین کینوا دارای کیفیت بالایی است که این گیاه را به معیارها و استانداردهای فائو به‌منظور تغذیه انسان‌ها، نزدیک‌تر کرده است. مقدار

۱- دانشجوی دکترای فیزیولوژی گیاهی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۳- گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۴- استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
۵- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mjamialahmadi@birjand.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.74044.1126

6- C_3 Plants

اسید آمینه‌های لیزین، متیونین و سیستئین در پروتئین کینوا بالا است، به نحوی که این گیاه را نسبت به غلات (لیزین) و حبوبات (متیونین و سیستئین) برتری داده است (Abugoch *et al*., 2009).

عوامل متعدد ژنتیکی و محیطی نظیر ژنوتیپ، تراکم، آرایش و تاریخ کاشت، شوری خاک و تنش خشکی عملکرد را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Hashemi Dezfouli *et al*., 1995). در این بین، خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده است که هر ساله خسارت فراوانی به محصولات زراعی و باغی در جهان و به‌ویژه ایران که به‌عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، وارد می‌کند (Kafi *et al*., 2007). اثر تنش رطوبت بر گیاهان بسته به این‌که در کدام مرحله رشد گیاه رخ دهد متفاوت بوده و گیاهان قادرند با مکانیسم‌های متعددی همچون کاهش پارامترهای رشد، بسته نمودن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز، تغییر در سازوکارهای تنظیمی انتقال یون‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تا حدی با تنش خشکی مقابله کنند (Hassanpour & Niknam, 2014)، هرچند چنین مکانیسم‌هایی انرژی‌خواه بوده و سبب افت عملکرد می‌شوند.

پژوهش‌ها نشان داده است که تنش خشکی باعث کاهش رشد و عملکرد کینوا می‌شود (Fuentes & Bhargava, 2011)؛ زیرا در این تنش علاوه بر افت کارایی فتوسنتز به دلیل کمبود آب در سلول‌های برگ (کاهش RWC) و کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، باعث افزایش میزان اکسیژن‌های فعال در کینوا می‌شود (Aziz *et al*., 2018). در پژوهشی دیگر علی و همکاران گزارش دادند که کاهش میزان آب آبیاری منجر به کاهش طول ریشه، ارتفاع، وزن تر اندام هوایی و ریشه و عملکرد دانه گیاه کینوا در شرایط آب و هوایی عربستان سعودی در سطح احتمال ۵ درصد شد (Aly *et al*., 2018). همچنین، در پژوهشی دیگر که به‌منظور بررسی اثر کم‌آبیاری بر روی گیاه کینوا در کشور برزیل اجرا شد، نتایج نشان داد که کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد منجر به کاهش ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه و برگ و سنبله و وزن دانه شد (Jayme- Oliveira *et al*., 2017). جمالی و همکاران (Jamali *et al*., 2018) در مقایسه تنش دوره‌ای آب آبیاری بر گیاه کینوا رقم NSRCQ نیز دریافتند که تنش رطوبتی موجب کاهش تعداد برگ و تعداد شاخه جانبی و تعداد سنبله و به تبع آن وزن و عملکرد دانه می‌شود.

جمالی و همکاران (Jamali *et al*., 2018) در تحقیقی بر روی گیاه کینوا رقم Titicaca نشان دادند که کم‌آبیاری منجر به کاهش وزن هزار دانه، ارتفات بوته، وزن خشک اندام هوایی و ریشه و عملکرد دانه در بوته شد. ایشان اظهار کردند که با توجه به شرایط محدودیت آب در منطقه و با توجه به این‌که بین تیمارهای ۱۰۰ درصد و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در صفت عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. جاکوبسن و همکاران نشان دادند که گیاه کینوا جهت مقابله با خشکی و افزا یش راندمان آب روزنه‌های برگ خود را بسته که خود موجب حفظ پتانسیل برگ و سرعت فتوسنتز در طول خشک شدن خاک می‌گردد. از طرفی در طول خشک شدن خاک ریشه آبسزیک اسید تولید کرده که باعث تنظیم فعالیت روزنه‌ها از طریق کاهش آماس سلول‌های نگهبان روزنه و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود (Jacobsen *et al*., 2009).

تراکم بوته می‌تواند بر عملکرد و بسیاری دیگر از صفات گیاهان موثر باشد. تراکم بوته از طریق تاثیر بر عملکرد دانه تک بوته، بر عملکرد دانه در واحد سطح تأثیر می‌گذارد. چنانچه عملکرد دانه در اثر رقابت پایین باشد وجود تعداد زیادی بوته در تراکم بالا می‌تواند کمبود عملکرد بوته و متعاقبا عملکرد دانه در واحد سطح را جبران کند (Koutroubas *et al*., 2000)، گرچه تشدید رقابت درون‌گونه‌ای در تراکم‌های بسیار بالا نیز می‌تواند سبب افت عملکرد شود. بنابراین تعیین تراکم بهینه گیاهان نیز به نوبه خود نقش به‌سزایی در استفاده از منابع تولید در اکوسیستم‌های زراعی دارد (Kafi *et al*., 2010). تراکم مطلوب بوته در واحد سطح تراکمی است که در نتیجه آن کلیه عوامل محیطی به‌طور کامل مورد استفاده گیاه قرار گرفته و در عین حال رقابت‌های درون‌بوته‌ای و برون‌بوته‌ای حداقل باشد. به این ترتیب، حداکثر عملکرد ممکن با کیفیت مطلوب به‌دست می‌آید (Khajepour, 2000).

تراکم مناسب کشت نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد نهایی هر رقم دارد و می‌تواند بسته به نوع گیاه، رقم، حاصلخیزی خاک و شرایط اقلیمی هر منطقه متفاوت باشد. در پژوهشی در برزیل با افزایش تراکم کاشت کینوا از ۱۰۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰۰ بوته در هکتار، ارتفاع بوته و تعداد روز تا رسیدن کاهش نشان داده است اما صفات عملکرد دانه، بیوماس کل و شاخص برداشت تحت تاثیر تراکم کشت قرار نگرفتند، که این عدم تاثیرپذیری ناشی از ظرفیت بالای کینوا در تولید شاخه‌های فرعی و جبران تراکم کم بیان شده است (Spehar & Rocha, 2009).

در آزمایش‌های صورت‌گرفته بر روی کلزا (*Brassica napus*)، بیشترین عملکرد دانه کلزا در تراکم ۸۰ بوته در متر مربع به‌دست آمد و افزایش تراکم موجب کاهش معنی‌دار آن شد (Matinfar, 2012). تراکم بوته از طریق تاثیر بر عملکرد دانه تک بوته، بر عملکرد دانه در واحد سطح تاثیر می‌گذارد. همان‌طور که در گیاهی همچون گندم (Eyvazi *et al*., 2005) دیده شده است میزان پروتئین دانه از جمله صفات کیفی است که عموما تحت شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد.

از آن‌جایی که کینوا گیاهی جدید بوده و برخی از جنبه‌های به‌زراعی و پژوهشی آن در مورد تراکم بهینه و سطوح مختلف آبیاری انجام نشده و با توجه به کاهش روزافزون منابع آب و ضرورت استفاده بهینه آب در جهت تولید و عملکرد بالا لذا این پژوهش با هدف تعیین بهترین مقدار آبیاری و تراکم بهینه گیاه کینوا صورت پذیرفته است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی و تراکم بوته بر صفات رشدی گیاه کینوا در طی سال‌زراعی ۹۷- ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند به مرحله اجرا درآمد. به‌منظور اطلاع از شرایط جوی محل اجرای آزمایش، میانگین بارندگی، رطوبت نسبی و درجه حرارت ۲۰ ساله اخیر بیرجند به استناد پایگاه اطلاع‌رسانی هواشناسی کل کشور در شکل ۱ نشان داده شده است.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول آزمایش سطوح مختلف آبیاری در سه سطح (آبیاری بر اساس ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و فاکتور دوم آزمایش تراکم بوته در پنج سطح (۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ بوته در متر مربع) بود.

بذر کینوا مورد نیاز از رقم تیتیکاکا، لاین NSRCQ1 بود که از مرکز تحقیقات ملی شوری یزد تهیه شد. کشت در اول مرداد ماه سال ۱۳۹۶ انجام شد. بذور به‌صورت دستی و در عمق یک سانتی‌متری خاک، بر روی شش خط به فاصله ۳۰ سانتی‌متر در کرت‌هایی (در ابعاد ۵ در ۲/۱ متر) به مساحت ۱۰/۵ متر مربع کشت شدند. تعداد بوته در روی هر خط کشت در تراکم ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ بوته به‌ترتیب ۷۰، ۱۰۵، ۱۴۰، ۱۷۵ و ۲۱۰ بوته بود. جهت یکنواختی در سبز شدن بلافاصله پس از کاشت اولین آبیاری انجام شد و هر سه روز یک بار تا سبز شدن کامل آبیاری تکرار شد. برای دستیابی به تراکم‌های مورد نظر در مرحله ۴ تا ۵ برگی تنک و اعمال تیمارهای آبیاری از مرحله ۶ تا ۸ برگی شروع شد. نیاز آبی گیاه با استفاده از نرم‌افزار Cropwat version 8i محاسبه گردید و اعمال سطوح آبیاری از مرحله چهار تا پنج برگی (بعد از اطمینان از استقرار گیاهچه) شروع شده و تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه ادامه یافت. به‌منظور دستیابی به مقادیر مورد نظر آب برای هر نوبت آبیاری از کنتور استفاده شد. زمان آبیاری با توجه به میزان تبخیر از تشتک تبخیر که در مجاورت مزرعه نصب شده بود، تعیین شد.

برآورد نیاز آبی گیاه

روش بلانی –کریدل:

$$ETo=C[P(0.46T+8.13)] \quad (۱)$$

ETo: تبخیرو تعرق گیاه مرجع

C: ضریب تصحیح یا ضریب اقلیمی که شامل سه پارامتر: رطوبت نسبی. ساعت آفتابی و سرعت باد می‌باشد.

T: میانگین درجه حرارت ماهانه

P: متوسط درصد ساعات روشنایی روزانه به کل ساعات روشنایی در ماه‌های مختلف.

رقم P توسط فائو برای مناطق مختلف محاسبه شده است.

برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر، از رابطه (۲) استفاده می‌شود:

$$ETC= ETo\times Kc \quad (۲)$$

CWR: نیاز آبی محصول

$$CWR= ETo\times Kc*A \quad (۳)$$

ETo: داده خروجی کراپ وات حاصل از داده هواشناسی منطقه مورد آزمایش

Kc: ضریب گیاهی

A: سطح کرت

جدول ۱- مجموع میزان آب استفاده شده جهت آبیاری در هر تیمار

Table 1- Total amount of water used for irrigation in each treatment

آبیاری (درصد از نیاز آبی گیاه) Irrigation (Percentage of plant water requirement)	حجم آب مصرفی در کل دوره رشد در هر کرت Volume of water consumption in the whole growth period per plot (L)
50	7957
75	11936
100	15915

جدول ۲- مشخصات خاک منطقه مورد آزمایش

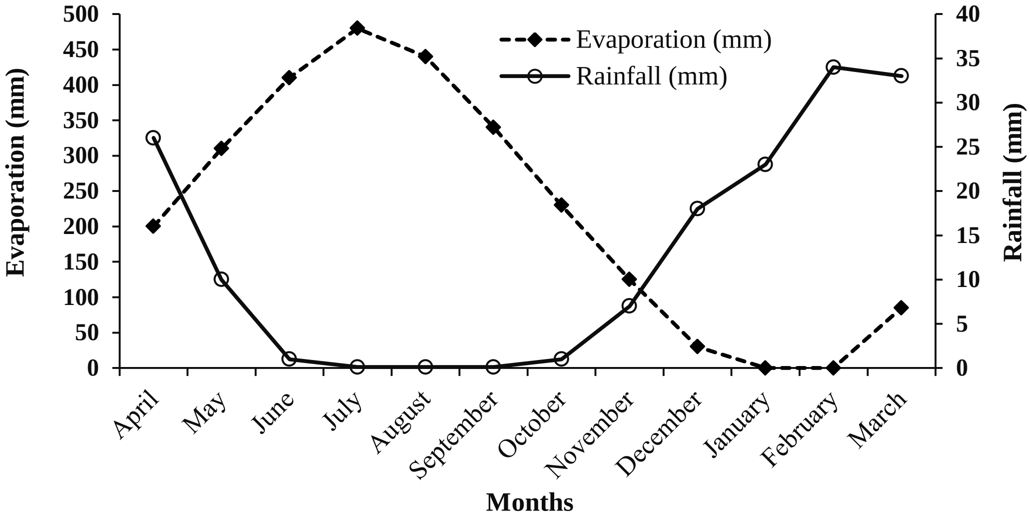
Table 2- Characteristics of the soil of the experimental site

بافت خاک Soil texture	pH	ماده آلی Organic matter	درصد رطوبت اشباع Saturated Moisture	منیزیم Mg	سدیم Na	پتاسیم K	کلسیم Ca	نسبت جذب سدیم SAR
لومی رسی			٪		meq L^{-1}			
Clay loam	7.8	0.38	24.5	4.4	11	2.15	5	4. 87



شکل ۱- مکان آزمایشی و کنتور آب برای اندازه‌گیری مصرف آب نصب شده است.

Figure 1- Experimental field and water meter installed to measure water consumption



شکل ۲- میانگین ۲۰ ساله نوسانات تبخیر و بارندگی در منطقه بیرجند

Figure 2- 20 years average of evaporation and rainfall fluctuations in Birjand region

صفات اندازه‌گیری‌شده

محتوای نسبی آب برگ

سه گیاه از هر کرت را انتخاب کرده و در اوایل گلدهی (۱۳۹۵/۶/۲۵، ۴۴ روز پس از کاشت) دو ساعت پس از طلوع آفتاب یک برگ از هر گیاه (برگ ماقبل آخر یا همان آخرین برگ توسعه‌یافته) برای محاسبه محتوای آب نسبی برگ جدا گردید (Saremi & Seyadat, 1996). برگ‌ها بلافاصله در پاکت پلاستیکی و درون فلاسک حاوی یخ قرار داده شده و به سرعت به آزمایشگاه منتقل شدند و پس از تمیز کردن سطح برگ‌ها، وزن تر آن‌ها تعیین شد. پس از آن نمونه‌ها در ظروف دربسته حاوی آب مقطر قرار گرفتند و ظروف به مدت چهار تا شش ساعت در تاریکی (برای جلوگیری از فتوسنتز) و در دمای پایین (حدود چهار درجه سانتی‌گراد، جهت جلوگیری از تنفس)، نگهداری شدند. پس از این مدت آب سطحی نمونه‌ها با دستمال کاغذی گرفته شد و وزن اشباع برگ‌ها تعیین شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت، درون آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک و مجدد توزین شدند. محتوای نسبی آب برگ از رابطه (۴) محاسبه شد (Ritchi & Nighoyn, 1990).

$$RWC = \{(Fw-Dw) / (Sw- Dw)\}\times 100 \quad (۴)$$

که در این رابطه Fw= وزن تر برگ، Dw= وزن خشک برگ و Sw= وزن اشباع برگ می‌باشد.

هدایت روزنه‌ای

در دو مرحله ابتدای گل‌دهی و ابتدای دانه‌بندی (۱۳۹۵/۷/۱۰، ۶۰ روز پس از کاشت)، هدایت روزنه‌ای چهار عدد برگ تصادفی در هر

کرت از ارتفاع یکسان با استفاده از دستگاه Porometer (ECM/ASU) و در ساعات ۱۱ تا ۱۳ مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و میانگین آن‌ها به‌عنوان هدایت روزنه‌ای تیمار در نظر گرفته شد.

شاخص پایداری غشا

شاخص پایداری غشا از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیتی برگ در اوایل گلدهی (۱۳۹۵/۶/۲۵، ۴۴ روز پس از کاشت) از آخرین برگ توسعه‌یافته ارزیابی شد. برای این منظور ۱۵ عدد دیسک برگی به لوله‌هایی با حجم ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر انتقال یافت و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و شدت نور کم قرار داده شدند. سپس هدایت الکتریکی آب مقطر همراه نمونه‌ها (EC1) توسط دستگاه EC اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش در حمام آب جوش (۹۵ درجه سانتی گراد) به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند و پس از سرد شدن EC2 آن‌ها مجددا اندازه‌گیری شد و در نهایت نشت الکترولیتی با رابطه (۵) محاسبه گردید (Sairam & Srivastava, 2001).

$$EL\% = \left[\frac{EC1}{EC2}\right] * 100 \quad (۵)$$

کارایی مصرف آب (WUE)

کارایی مصرف آب که نشان‌دهنده عملکرد دانه تولید شده به ازای واحد حجم آب مصرفی می‌باشد، بر اساس رابطه (۶) محاسبه گردید (Sharma *et al.*, 2015).

$$WUE = \frac{GY}{W} \quad (۶)$$

که در این رابطه GY نشان‌دهنده عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و W نیز حجم آب مصرف‌شده در هکتار بر حسب متر مکعب می‌باشد.

پروتئین دانه

پروتئین دانه به روش کجلدال اندازه‌گیری شده و با استفاده از رابطه (۷) میزان نیتروژن یا درصد پروتئین خام نمونه محاسبه گردید (AOAC, 1990).

$$\%protein = \frac{v \times 0.14 \times F}{m} \quad .....(۷)$$

v: حجم اسید مصرفی

m: وزن نمونه (گرم)

F: این فاکتور برای مواد خوراکی مختلف، متفاوت است که معمولا عدد ۶/۲۵ را قرار می‌دهند که فاکتور پروتئینی است. در صورتی که این فاکتور در صورت کسر نباشد عدد به‌دست آمده درصد نیتروژن نمونه می‌باشد.

تعداد انشعاب درگل‌آذین اصلی

در انتهای فصل رشد (که زمان تقریبی رسیدگی فیزیولوژیک گیاه در تیمار ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب به میزان ۹۹، ۹۰ و ۸۰ روز پس از کاشت بود) به‌صورت تصادفی از هر کرت با رعایت اصول اثر حاشیه تعداد انشعاب در گل‌آذین اصلی در سه تکرار شمارش شد.

وزن انشعاب در گل‌آذین اصلی

از هر کرت سه عدد بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و از گل‌آذین اصلی یک عدد انشعاب برداشت و درون پاکت قرار گرفته و به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و بعد وزن خشک آن تعیین گردید.

تعداد دانه در انشعاب در گل‌آذین اصلی

بعد از خشک شدن و وزن انشعاب و پس از انجام بوجاری، تعداد دانه در هر انشعاب تعیین گردید.

عملکرد و وزن هزار دانه

به‌منظور تعیین عملکرد دانه پس از رسیگی کامل (۱۳۹۵/۸/۲۰، ۱۰۰ روز پس از کاشت) زمانی که ۵۰ درصد بذور هر کرت به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند، سطحی معادل ۲ متر مربع از نیمه دوم کرت برداشت شد و پس از انجام بوجاری عملکرد هر کرت جداگانه اندازه‌گیری شد. وزن هزار دانه نیز با توزین ۱۰۰۰ دانه بر اساس رطوبت ۱۴ درصد گزارش شد (Ghasemi seiani *et al.*, 2011).

در نهایت، محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (9.3) انجام شد، رسم نمودارها نیز توسط نرم‌افزار Excel انجام گردید. میانگین صفات مورد مطالعه نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار LSD در سطح پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ

محتوای نسبی آب برگ در این پژوهش تحت تاثیر معنی‌داری اثر ساده سطوح مختلف آبیاری و اثر ساده سطوح مختلف تراکم بوته (P<۰/۰۱) قرار گرفت (جدول ۳). نتایج نشان داد که بالاترین میزان محتوای نسبی آب برگ در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شده است که با افزایش میزان تنش کم آبی، به‌ترتیب محتوای نسبی آب برگ به میزان ۱۳/۱ و ۲۲/۶ درصد کاهش یافت. همچنین، افزایش تراکم از ۴۰ بوته به ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ بوته در متر مربع با کاهش محتوای نسبی آب برگ به‌ترتیب به میزان ۱/۷، ۴/۵، ۷/۳ و ۱۰/۷ درصد همراه بود (جدول ۴). در تراکم‌های بالاتر، به دلیل رقابت بیشتر

برای آب و مواد غذایی، میزان آب قابل دسترس برای هر بوته نسبت به تراکم‌های پایین‌تر کاهش می‌یابد که نتیجه آن، کاهش محتوی نسبی آب برگ خواهد بود. این شاخص، ارتباط نزدیکی با حجم سلول دارد و بیان‌کننده تعادل بین فراهمی آب بافت‌های برگ و سرعت تعرق می‌باشد (Lugojan & Ciulca, 2011).

به نظر می‌رسد گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند، فضای بین سلولی و میزان آب در پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آن‌ها شود که این امر موجب کاهش میزان آب نسبی در شرایط تنش خشکی می‌گردد (Khorshidi *et al*., 2001). اندازه‌گیری وضعیت آب گیاه به‌عنوان یک شاخص مهم در شناسایی پاسخ گیاهان به تنش خشکی مطرح است به‌طوری که زیاد بودن میزان آب نسبی برگ و کم بودن سرعت از دست رفتن آب نشان‌دهنده سازگاری به خشکی است و می‌تواند به‌عنوان یک معیار گزینش برای تحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرد (Winter *et al*., 1988). تغییرات محتوای رطوبت برگ به‌عنوان یک واکنش کوتاه‌مدت به تنش و معیاری از توان حفظ قدرت منبع در شرایط تنش خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ahmadi & Sivosemarde, 2004). پایین آمدن محتوای نسبی آب برگ‌ها و کاهش تورژسانس در بافت‌های گیاهی می‌تواند اولین اثر تنش خشکی باشد که به‌طور طبیعی رشد سلول و اندازه نهایی آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد (El-Kheir *et al*., 1994).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی

Table 3- Results of analysis of variance of evaluated traits

	S.O.V منابع تغییر					ضریب تغییرات CV (%)
	بلوک Block	آبیاری Irrigation (I)	تراکم Density (D)	آبیاری × تراکم I × D	خطا Error	
درجه آزادی Degrees of freedom	2	2	4	8	28	
محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content	88.4**	1448.4**	105.1**	7.4 ns	15.01	5.1
نشت الکترولیت Electrolyte leakage	216.07 ns	1087.3*	484.05 ns	170.3 ns	323.9	26.1
هدایت روزنه‌ای در گلدهی Directing an orifice in flowering	12.4 ns	709.9 **	12.7 ns	4.7 ns	4.9	7.8
هدایت روزنه‌ای در دانه‌بندی Aperture guidance in granulation	1.3 ns	380.1**	44.4 **	3.8 ns	5.6	48.9
تعداد انشعاب خوشه Number of cluster bifurcations	9073.6 ns	1620400.9 **	1323970.4 **	60109.6 **	4115.9	6.1
وزن انشعاب Branch weight	263191.1*	13306110.8**	2547390.7**	4791108**	73143.3	19.5
تعداد دانه در انشعاب Number of seeds per branch	852.1ns	29591.6**	1069.9ns	528.2ns	521.6	26.8
وزن هزار دانه Weight of one thousand seeds	68.7ns	1725.4**	72.6*	10.8ns	20.6	27.8
عملکرد دانه Grain performance	415216.1ns	358029081**	3112722.2**	818071.1**	151263.3	24.5
کارایی مصرف آب Water use efficiency	0.2ns	10.5**	1.5**	0.3**	0.08	27.0
پروتئین دانه Grain protein	4.1ns	20.8**	2.6ns	3.3ns	2.06	7.4

**، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

**, * and ns indicates significant at 0.01 and 0.05 probability level and non-significant, respectively

جدول ٤- اثر ساده سطوح آبیاری و تراکم بوته بر برخی صفات اندازه‌گیری شده گیاه کینوا

Table 4- Effect of irrigation levels and plant density on some measured traits of Quinoa

تیمار Treatment		محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content (%)	نشت الکترولیت Electrolyte leakage (µmoh cm^{-1})	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductivity (mol CO_2 m^{-2} s^{-1}) گلدهی Flowering	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductivity (mol CO_2 m^{-2} s^{-1}) دانه‌بندی Seed setting	تعداد دانه در انشعاب در گل‌آذین اصلی Number of seeds per branching in the main inflorescence	وزن هزار دانه Weight of 1000 seeds (g)	پروتئین دانه Grain protein (%)
تراکم (بوته در متر مربع) Density (Plant per square meter)	40	79.91^{a}	67.39	28.22	23.44^{b}	79.76	1.32^{b}	19.53
	60	78.51^{a}	69.94	27.89	23.56^{b}	78.92	1.42^{a}	18.31
	80	76.32^{ab}	74.67	27.11	24.11^{b}	89.97	1.43^{a}	19.40
	100	74.06^{bc}	67.05	29.67	25.44^{b}	95.56	1.26^{bc}	19.62
	120	71.39^{c}	66.26	29.89	28.78^{a}	81.31	1.18^{c}	19.48
آبیاری (درصد از نیاز آبی گیاه) Irrigation (Percentage of plant water requirement)	50	66.78^{c}	78.50^{a}	21.93^{c}	20.07^{c}	44.62^{c}	0.68^{c}	20.29^{a}
	75	74.98^{b}	66.73^{ab}	28.07^{b}	25.00^{b}	78.25^{b}	1.46^{b}	19.54^{a}
	100	86.35^{a}	61.96^{b}	35.67^{a}	30.13^{a}	132.64^{a}	1.82^{a}	17.98^{b}

شاخص پایداری غشا

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف آبیاری روی نشت الکترولیت اثر معنی‌داری (P<۰/۰۵) داشته است (جدول ۳). کمترین میزان تخریب غشاء در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شده است که با کاهش آبیاری به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب میزان نشت الکترولیت با ۷/۷ و ۲۶/۷ درصد افزایش داشته است (جدول ۴).

غشای سلولی از نخستین اندام‌هایی است که تحت شرایط تنش، آسیب می‌بینند و تراوایی آن افزایش یافته و نشت الکترولیتی از سلول باعث مرگ آن می‌گردد. پایداری غشای سلولی می‌تواند به‌عنوان معیاری از تحمل به تنش کم‌آبیاری در نظر گرفته شود (Nazari nasi et al., 2011). تنش کم‌آبی از تکامل دیواره ممانعت نموده و باعث نشت بیشتر الکترولیت‌ها از دیواره سلولی شده و پایداری غشاء سلولی کاهش می‌یابد (Shibario et al., 1998). در نتیجه صدمه به غشای سلولی، تراوائی افزایش یافته و بدین ترتیب نشت الکترولیتی از سلول باعث پژمردگی گیاه می‌شود (Blume & Ebercon, 1981). خزاعی (Khazayi, 2001) گزارش کرده است که میزان صدمه به غشاهای سلولی بر اثر تنش خشکی ممکن است از طریق اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها از سلول سنجیده شود، ایشان همچنین خاطر نشان نموده است که در شرایط تنش رطوبتی، پایداری غشاء سلولی جزء اصلی تحمل به تنش خشکی در گندم است .در طی بررسی اثر تنش خشکی بر روی چهار رقم سورگوم مشخص شد که میزان پایداری غشا پلاسمایی در بین ارقام مختلف متفاوت بود و با افزایش تنش آب کاهش یافت و نیز مشخص شد که پایداری غشا سیتوپلاسمی تحت تاثیر میزان موم‌اپی کوتیکولی، ضخامت کوتیکول و پتانسیل آب برگ‌ها قرار گرفت (Premachandra et al., 1992).

هدایت روزنه‌ای

(الف) ابتدای‌گلدهی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که این صفت تنها تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری (P<۰/۰۱)، قرار گرفته است (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری نشان داد که

بیشترین هدایت روزنه‌ای به میزان ۳۵/۶۶ (مول CO_2 در متر مربع بر ثانیه) در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شده است که با افزایش میزان تنش به ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی به‌ترتیب با ۳۸/۵ و ۲۱/۳ درصد کاهش همراه بوده است (جدول ۴).

ب) ابتدای دانه‌بندی

همچنین نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که این صفت در این مرحله نیز تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته (P<۰/۰۱)، قرار گرفته است (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری نشان داد که بیشترین هدایت روزنه‌ای به میزان ۳۰/۱۳ (مول CO_2 در متر مربع بر ثانیه) در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شده است که با افزایش میزان تنش به ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی به‌ترتیب با ۳۳/۴ و ۱۷/۰۳ درصد کاهش همراه بوده است. نتایج مقایسه میانگین تراکم بوته نشان داد که با افزایش تراکم میزان هدایت روزنه‌ای نیز افزایش داشته است به طوری که بالاترین آن در تراکم ۱۲۰ بوته به میزان ۲۸/۷۷ (مول CO_2 در متر مربع بر ثانیه) حاصل شد و با کاهش تراکم بوته به ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ بوته در مترمربع به‌ترتیب به میزان ۱۱/۶، ۱۶/۲، ۱۸/۱ و ۱۸/۵ درصد با کاهش هدایت روزنه‌ای همراه بود (جدول ۴).

در تیمار آبیاری کامل هدایت روزنه‌ای زیادتر بوده و احتمالاً همین موضوع سبب افزایش فتوسنتز و تعرق بیشتر و در نتیجه رشد و توسعه بیشتر (افزایش ارتفاع و سطح برگ) در این تیمار شده است. به‌طور کلی می‌توان گفت رفتار روزنه‌ها نقش اساسی در تعیین آثار تنش بر گیاه دارد. بیش از ۹۰ درصد تبادل دی‌اکسید کربن و بخار آب در گیاه توسط روزنه‌ها انجام می‌گیرد. تنش آبی باعث محدود شدن بازشدگی روزنه‌ها و کاهش هدررفت آب و جذب کربن و بنابراین حفظ رطوبت در بافت‌های گیاه می‌شود (Goldhamer, 2002). تنش خشکی می‌تواند موجب کاهش میزان فتوسنتز شود زیرا چون میزان باز بودن روزنه تابع وضعیت آبی گیاه است، کمبود آب گیاه منجر به بسته شدن دهانه روزنه می‌گردد که موجب کاهش میزان هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش فتوسنتز می‌گردد (Ahmadi *et al.*, 2004). در آزمایش بر روی چغندرقند مشاهده شد که تنش خشکی موجب کاهش فتوسنتز در این گیاه می‌گردد (Baloch *et al.*, 2006). ایشان دلیل کاهش میزان فتوسنتز را کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن دانستند که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

صفات عملکردی

تعداد انشعاب درگل‌آذین اصلی

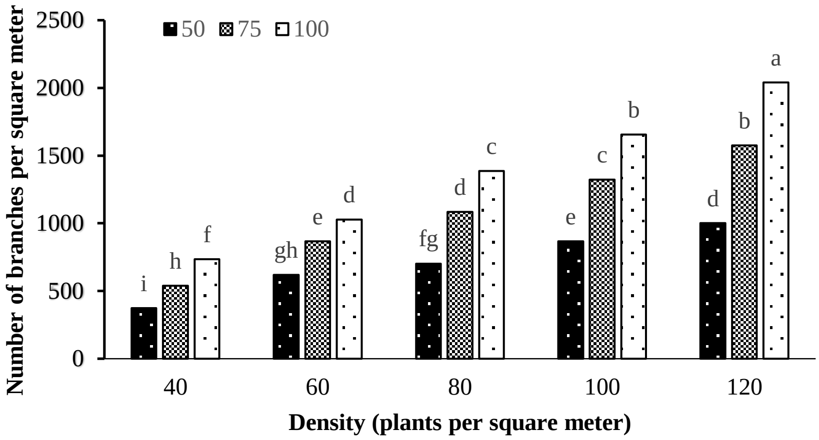
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که این صفت تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، تراکم بوته و اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته (P<۰/۰۱)، قرار گرفته است (جدول ۳). اثرات متقابل نشان داد که بیشترین تعداد انشعاب در متر مربع در ترکیب تیماری آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تراکم ۱۲۰ بوته در متر مربع به میزان ۲۰۴۰ انشعاب در متر مربع حاصل شد. همچنین نتایج نشان داد که در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی با افزایش تراکم بوته از ۴۰ به ۱۲۰ بوته در متر مربع به میزان ۱۶۷/۸۶ درصد افزایش تعداد انشعاب در متر مربع را داشته و به همین ترتیب در سطح ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی با افزایش تراکم، شاهد افزایش تعداد انشعاب در متر مربع به‌ترتیب به میزان ۱۹۲/۵۶ و ۱۷۸/۱۸ درصد بود (شکل ۳).

در سطوح پایین نیاز آبی کاهش تعداد انشعاب نیز در جهت تنظیم تعداد مقصدهای فیزیولوژیکی با میزان تولید مواد پرورده انجام شده است. از آن‌جا که اجزای اصلی عملکرد دانه یعنی تعداد انشعاب در واحد سطح، تعداد دانه در انشعاب و وزن صد دانه در طی مراحل نسبتاً متفاوتی از رشد گیاه تعیین می‌شوند. شرایط محیطی موجود در زمان آغازش و طی دوره توسعه هر جزء عملکرد بر سهم نسبی آن جزء بر عملکرد اثر می‌گذارد. تنش آب در برخی از مراحل رشد در مقایسه با مراحل دیگر صدمات بیشتری را به محصول اقتصادی گیاه وارد می‌کند. در غلات، دوره بحرانی نیاز آبی معمولاً از مرحله تشکیل اندام‌های تولید مثل آغاز می‌شود و تا مرحله گرده‌افشانی و باروری ادامه می‌یابد (Cabuslay *et al.*, 2002). سرمدنیا و کوچکی (Sarmadnia & Koocheki, 1991)، به وجود ارتباط نزدیک بین تعداد انشعاب در واحد سطح با رژیم رطوبتی خاک اشاره کرده‌اند.

وزن انشعاب در گل‌آذین اصلی در متر مربع

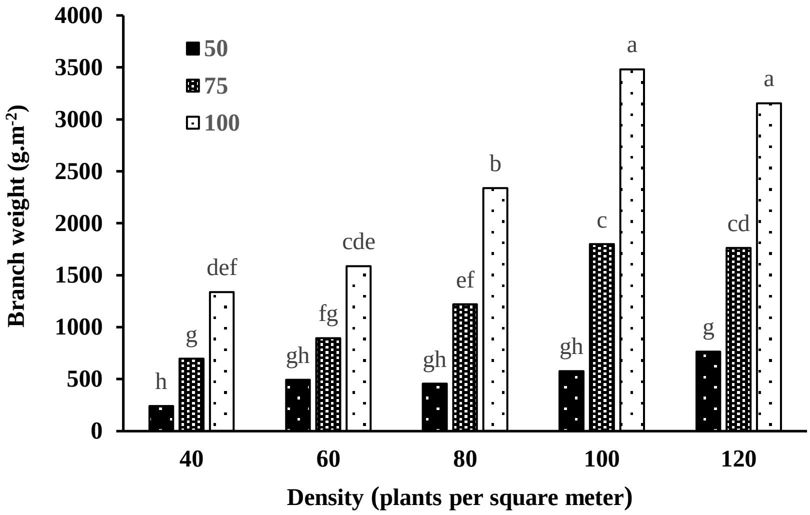
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که این صفت تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، تراکم و همچنین اثر متقابل دوگانه بین سطوح مختلف آبیاری و تراکم (P<۰/۰۱)، قرار گرفته است (جدول ۳). اثرات متقابل نشان داد که بیشترین وزن انشعاب در متر مربع در ترکیب تیماری آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تراکم ۱۰۰ بوته بر متر مربع حاصل شد که به میزان ۳۴۸۰/۴ گرم در متر مربع بوده است. نتایج نشان داد که کاهش تراکم بوته از ۱۰۰ به ۴۰ بوته در متر مربع در هر سطح آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد آبیاری به‌ترتیب به میزان ۵۸/۶، ۶۱/۴ و ۶۱/۶ درصد با کاهش وزن انشعاب همراه بود (شکل ۴).

یاداو و همکاران (Yadav *et al.*, 2001) گزارش نمودند که در شرایط تنش خشکی وزن دانه، وزن انشعاب اصلی، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در ارقامی از گندم که از مقاومت کمتری برخوردار هستند، کاهش می‌یابد.



شکل ۳- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته بر تعداد انشعاب در متر مربع (LSD 0.05)

Figure 3- Interaction of different irrigation levels and plant density on the number of branches per square meter (LSD 0.05)



شکل ٤- اثر متقابل سطوح آبیاری و تراکم بوته بر وزن انشعاب در گل‌آذین اصلی در متر مربع (LSD 0.05)

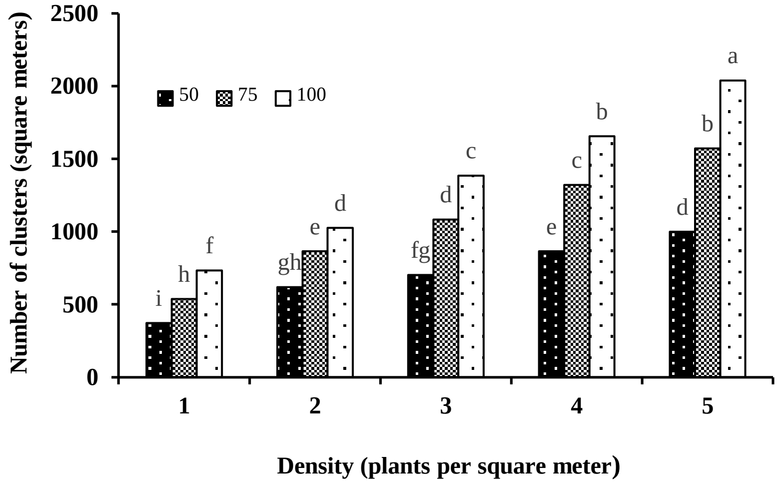
Figure 4- Interaction of irrigation levels and plant density on branch weight in main inflorescence per square meter (LSD 0.05)

تعداد دانه در انشعاب در گل‌آذین اصلی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که این صفت تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری (P<۰/۰۱)، قرار گرفته است (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری نشان داد که بیشترین تعداد دانه به میزان ۱۳۲/۶۴ در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شده است که با افزایش میزان تنش به ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی به‌ترتیب با ۶۶/۳۶ و ۴۱ درصد کاهش همراه بود (جدول ۴)، (شکل ۵).

تنظیم اسمزی بالا، گیاه را قادر به حفظ بیشتر فشار تورژسانس، افزایش بیشتر طول ریشه و استخراج بیشتر آب از خاک انتقال بهتر روزنه‌ای و گسترش بیشتر انشعاب می‌سازد و در مجموع تنظیم اسمزی به‌طور مستقیم باعث افزایش تولید ماده خشک و به‌طور غیرمستقیم باعث افزایش تعداد دانه در انشعاب می‌شود (Chamberling & Wilson, 1985). بوجانگ و فوکایی (Boojang & Fukai, 1996)، اثر کمبود آب در مراحل مختلف رشد را بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام برنج ارزیابی کردند و دریافتند که اعمال کم آبیاری در مرحلهٔ رویشی، تأثیر کمی بر رشد و عملکرد دانه داشته است و کاهش ۳۰ درصدی عملکرد ناشی از کاهش در تعداد انشعاب و کاهش در تعداد

دانه در انشعاب بود. اما زمانی که کـم‌آبیـاری در خـلال دوره گلـدهی اتفاق افتاد، تأثیر آن روی عملکرد بسـیار زیـاد بـوده، بـه طـوری کـه گلدهی به تأخیر افتاده و تعداد دانه درانشعاب نسبت به شـرایط بـدون تنش تا ۶۰ درصد کاهش یافت و باعث کاهش درصد پر شدن دانه نیز شد.



شکل ۵- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته بر تعداد دانه در خوشه (LSD 0.05)

Figure 5- Interaction of different irrigation levels and plant density on the number of seeds per cluster (LSD 0.05)

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد کـه وزن هـزار دانـه تحـت تـأثیر سطوح مختلف آبیـاری و تـراکم بوتـه (P<۰/۰۱) قـرار گرفتـه اسـت (جدول ۳). بالاترین وزن هزار دانه در سطح ۱۰۰ درصد نیـاز آبـی بـه میزان ۱/۸۲ گرم حاصل شده است که با افزایش میزان تنش کم‌آبـی، به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب بـه میـزان ۱۹/۶ و ۶۲/۷ درصـد کاهش یافته است. با کاهش تنش از ۵۰ به ۷۵ درصد نیـاز آبـی وزن هزار دانه به میزان ۱۱۵/۸ درصد رشد داشـته و همچنـین بـا کـاهش تنش از ۷۵ به ۱۰۰ درصد نیاز آبی ۲۴/۴ درصد افزایش داشت (جدول ۴). در پژوهش جمالی و همکاران (Jamali *et al.*, 2018) که بررسی اثر تنش آبی بر روی گیاه کینوا رقم NSRCQ بود نیز وزن هزار دانـه در تیمار ۱۰۰ درصد آبی بیشترین مقدار را داشت. به نظر می‌رسد کـه کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی می‌تواند به علت کاهش دوره پرشدن دانه و پیـری زودرس گیـاه باشـد. قوشچی و همکـاران (Ghooshchi *et al.*, 2010) و سـلیمانی پـور و همکـاران (Soleimanpour *et al.*, 2009) نیز کاهش وزن هزار دانه کلزا را در شرایط کم‌آبی گزارش نمودند. همچنین بالاترین وزن هزار دانه تحت تاثیر تراکم بوته به میزان ۱/۴۳ گرم در تراکم ۸۰ بوتـه حاصـل شـد. تراکم‌های ۴۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ بوته به‌ترتیب به میـزان ۷/۵۶، ۱/۱۲، ۱۲/۲۷ و ۱۷/۹ درصد کاهش نسبت به تـراکم ۸۰ بوتـه همـراه بـود. تراکم بوته می‌تواند بر عملکرد و بسیاری دیگر از صفات گیاهان مـوثر باشد (جدول ۴). متین‌فـر و همکـاران (Matinfar *et al.*, 2012)، در مقایسه تراکم‌های ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ بوته در متر مربع گزارش نمودند که بیشترین تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه کلـزا در تراکم ۸۰ بوته در متر مربع به‌دست آمد. وزن هزار دانـه بـا سـرعت و مدت پرشدن دانه ارتباط دارد. تنش خشکی در طی پر شدن دانه وزن دانه را کاهش می‌دهد. این امر احتمالا به دلیل کـاهش مـواد پـرورده برای رشد دانه‌هاست. کاهش تولید مواد پرورده نیز به کـاهش فراینـد فتوسنتزی مربوط می‌شود که با بسته شـدن روزنـه‌هـا مـرتبط اسـت (Morgan, 1977). نتایج این آزمایش بـا نتـایج پژوهشـگرانی نظیـر (Rabbani & Emam, 2011; Rushdie *et al.*, 2006) که همگی کاهش وزن هزار دانه را در اثر تنش خشکی گزارش نمودند، مطابقـت دارد. بیلر و همکـاران (Bieler *et al.*, 1993) در مطالعـه رشـد دانـه ارزن مرواریدی در شرایط تنش و بدون تنش نشـان دادنـد وزن تـک دانه در شرایط تنش خشکی کاهش یافت. در اینجا تنش خشکی سبب کاهش طول مدت مرحله خطی رشد دانـه شـد و از ایـن طریـق وزن نهایی دانه کاهش یافت.

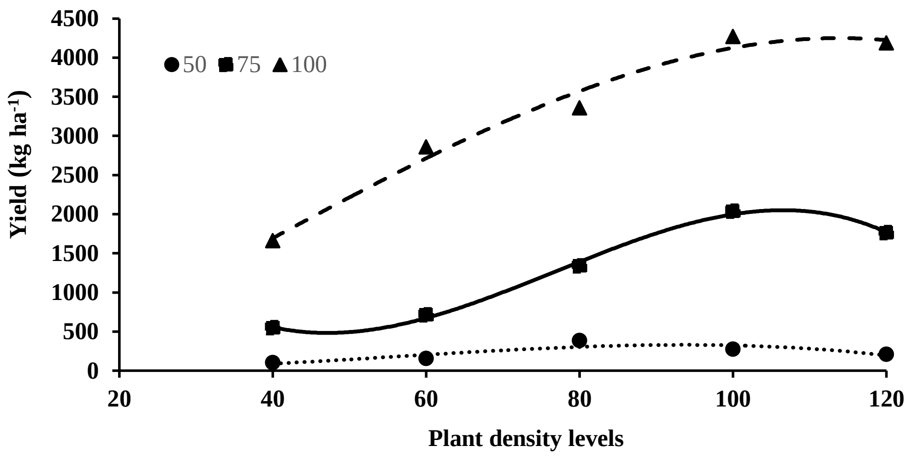
عملکرد

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر آبیاری، اثر تراکم و نیـز برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته بر این صفت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل سطوح آبیاری و تـراکم نیز نشان داد که بالاترین عملکرد در ۱۰۰ درصـد نیـاز آبـی و تـراکم ۱۰۰ بوته به میزان ۴۲۶۸/۵۲ کیلـوگرم در هکتارحاصـل شـد. نتـایج

نشان داد که درسطوح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی بالاترین عملکرد در تراکم ۱۰۰ بوته حاصل شد و با کاهش تراکم در این سطوح به‌ترتیب به میزان ۶۱/۲ و ۷۳/۲ درصد با کاهش عملکرد همراه بود ولی در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی بالاترین عملکرد در تراکم ۸۰ بوته حاصل شد که با کاهش تراکم به ۴۰ بوته عملکرد به میزان ۷۳/۵ درصد با کاهش همراه بود. همچنین نتایج نشان‌دهنده افزایش تراکم بهینه با افزایش سطح آبیاری است، به طوری‌که بهینه‌ترین تراکم در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی به میزان ۱۱۳ بوته در مترمربع حاصل شده و با افزایش میزان تنش به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب تراکم بهینه به میزان ۱۰۵ و ۸۰ بوته در متر مربع حاصل شده است (شکل ۶). تراکم بسیار بالا موجب افزایش بیماری، آفات و همچنین ساقه‌های باریک و بوته‌های ضعیف و افزایش احتمال ورس می‌شود.

تحقیقات رائو (Rao, 1987) نشان داد که عملکرد محصول ذرت (*Zea mays* L.) به‌طور خطی با افزایش میزان سطح آبیاری افزایش می‌یابد و در شرایط بدون محدودیت آب، تراکم کاشت ۷۰۰۰۰-۵۵۰۰۰ بوته در یک هکتار مناسب بوده و در شرایط با محدودیت آب، بهترین عملکرد ۴۰۰۰۰ بوته در یک هکتار به‌دست می‌آید و کارایی مصرف آب با افزایش میزان آبیاری کاهش پیدا می‌کند (Rao, 1987). انگلیش و راجا (English & Raja, 1990) سه مورد کم آبیاری را بیان می‌کنند که در آن‌ها کاهش هزینه‌های آبیاری بیش از کاهش درآمد(ناشی از کاهش محصول) بوده است. نحوه توزیع و تراکم بوته‌ها بر جذب و بهره‌وری از عوامل محیطی موثر بر رشد و رقابت درون و برون بوته‌ای تاثیر گذاشته، درنهایت از عوامل تعیین‌کننده عملکرد دانه است (Board & Harville, 1996; Prasad & Yadav, 1990). در تراکم‌های بسیار زیاد ناشی از کاهش زیاد فاصله بین بوته‌ها، به‌دلیل سایه‌اندازی و رقابت شدید برای نور وکمبود عوامل محیطی، سرعت ریزش برگ‌ها افزایش می‌یابد. این دو ممکن است از آثار مفید رشد سریع اولیه بکاهد (Board & Harville, 1996) و در صورت محدودیت شدید در عوامل محیطی کاهش عملکرد دانه گردد (Sandha *et al.*, 1977).

عملکرد بالقوه کینوا در صورتی که کلیه شرایط مطلوب برای آن فراهم باشد، بسته به رقم و منطقه کشت، ۶-۱/۵ تن در هکتار گزارش شده است (FAO, 2011).



شکل ٦- اثر متقابل سطوح آبیاری و تراکم بوته بر میزان عملکرد گیاه کینوا. معادلات مربوط به خطوط رگرسیونی در جدول زیر آورده شده است.
Figure 6- Interaction of irrigation levels and plant density on quinoa yield. The equations for the regression lines are given in the table below.

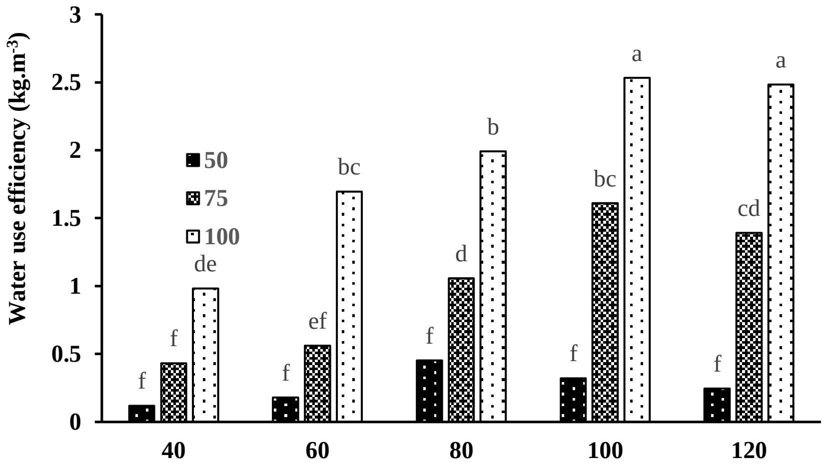
آبیاری (درصد از نیاز آبی گیاه) Irrigation (Percentage of plant water requirement)	**100**	$y = -0.0014x3 + 0.2272x2 – 6.5128x + 72.815; R^2= 0.755$
	75	$y = -0.015x3 + 3.4553x2 – 225.76x + 5017.2; R^2= 0.996$
	50	$y = -0.0031x3 + 0.3494x2 + 39.256x – 240.24; R^2= 0.980$

کارایی مصرف آب (WUE)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که این صفت تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، سطوح تراکم و برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته ($P<0/01$)، قرار گرفته است (جدول ۳).

مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و تراکم نشان داد که بالاترین کارایی مصرف آب در ترکیب تیماری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع به میزان ۲/۵۳ کیلوگرم در متر مکعب حاصل شد ولی پایین‌ترین کارایی مصرف آب نیز در ترکیب تیماری ۵۰ درصد نیاز آبی و تراکم ۸۰ بوته به میزان ۰/۴۵ کیلوگرم در متر مکعب آب بود. نتایج نشان داد که در سطوح آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی با کاهش تراکم از ۱۰۰ به ۴۰ بوته در متر مربع کارایی مصرف آب به‌ترتیب به میزان ۷۳/۲ و ۶۱/۲ درصد با کاهش همراه بود ولی در تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی بالاترین کارایی مصرف آب در تراکم ۸۰ بوته به میزان ۰/۴۵ کیلوگرم در متر مکعب حاصل شد و با کاهش تراکم بوته به ۴۰ بوته به میزان ۷۳/۵ درصد کاهش همراه بود (شکل ۷).

در پژوهش داگدلن و همکاران (Dagdelen *et al.*, 2006) افزایش راندمان مصرف آب را همراه با کم شدن میزان آب مصرفی گزارش کردند، در حالی که (Eshghizadeh *et al.*, 2010) افزایش کارایی مصرف آب همراه با افزایش میزان آب آبیاری گزارش کرده‌اند.



شکل ۷- اثر متقابل سطوح آبیاری و تراکم بوته بر کارایی مصرف آب (LSD 0.05)

Figure 7- Interaction of irrigation levels and plant density on water use efficiency (LSD 0.05)

پروتئین دانه

میزان پروتئین دانه در این تحقیق تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری ($P<0.01$)، قرار گرفته است (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بالاترین درصد پروتئین تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی به میزان ۲۰/۲۹ درصد بود که به‌ترتیب با کاهش میزان تنش به ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب به میزان ۳/۷۱ و ۱۱/۳۹ درصد کاهش همراه بود (جدول ۴). تنش خشکی سبب کاهش دوره پر شدن دانه می‌شود که سبب کاهش تجمع بسیاری از مواد می‌گردد، اما سنتز پروتئین به دلیل افزایش میزان انتقال مجدد نیتروژن، کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد (Oya, 2004). که در این تحقیق به‌دلیل کاهش دوره رشد زایشی این صفت با افزایش همراه بوده است. پروتئین بذر این گیاه بین ۱۳/۸۱ تا ۲۱/۹ درصد می‌باشد. به دلیل میزان بالای آمینواسیدها، این گیاه تنها گیاهی است که کل آمینواسیدهای ضروری بدن را تامین می‌کند (Bhargava *et al.*, 2006). بیگلویی و همکاران (Biglouei *et al.*, 2013) گزارش نمودند که افزایش تنش رطوبتی در ذرت سینگل کراس ۷۰۴ باعث افزایش درصد پروتئین دانه شد. به نظر می‌رسد که با اعمال تنش خشکی و کوتاه شدن دوره‌ی رشد زایشی فرصت کمتری برای ذخیره نشاسته وجود دارد و در نتیجه میزان پروتئین دانه افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که خشکی اثر نامطلوبی بر خصوصیات عملکردی کینوا دارد. اجزای عملکرد کینوا نیز مانند وزن هزار دانه، وزن انشعاب، تعداد دانه در انشعاب و تعداد انشعاب در گل‌آذین اصلی در اثر تنش خشکی کاهش قابل‌توجهی داشتند. نتایج نشان داد تنش تاثیر منفی بر ویژگی‌های مورد بررسی شامل عملکرد، گل و دانه داشت. با نقصان مواد فتوسنتزی انتقال مواد به سمت اندام زایشی نیز کاهش پیدا می‌کند که در نهایت موجب کاهش عملکرد رویشی و زایشی در گیاه می‌شود. با توجه به موقعیت ایران از نظر اقلیمی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و وجود بحران آب در این مناطق و انتخاب گیاهان سازگار به این شرایط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است شناخت و توسعهٔ کشت گیاهانی که از

ویژگی‌های مقاومت به خشکی پایین بهره‌مند هستند نیز از برنامه‌های اصولی و لازم در این مناطق می‌باشد. کشت کینوا می‌تواند راه‌گشایی در زمینهٔ تولید و تکثیر این گیاه با ارزش باشد و به این وسیله موجب ترویج و گسترش آن در منطقه گردد، از طرفی چون بخش اعظمی از کشور ایران و به‌ویژه استان خراسان جنوبی در منطقه اقلیمی با آب و هوای گرم و خشک قرار گرفته است. براساس نتایج حاصل از این پژوهش و با توجه به این‌که کینوا یک گیاه مقاوم به خشکی با دوره رشد کوتاه است، می‌تواند گیاه مناسبی جهت کشت در مناطق نیمه‌خشک باشد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که در بین سطوح آبیاری بالاترین تراکم بهینه چیزی حدود ۱۱۰ تا ۱۱۵ بوته در متر مربع بود و در صورت کم شدن آبیاری تراکم بهینه کاهش می‌یابد چون در این آزمایش، سطح ۷۵ درصد نیاز آبی ۱۰۵ بوته و سطح ۵۰ درصد نیاز آبی ۸۰ بوته بهینه‌ترین تراکم بوده‌اند.

References

1. Abugoch, L., Castro, E., Tapia, C., Añón, M. C., Gajardo, P., & Villarroel, A. (2009). Stability of Quinoa Flour Proteins (*Chenopodium quinoa* Willd.) During Storage. *International Journal of Food Science & Technology*, *44*(10), 2013-2020. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02023.x
2. Ahmadi, A., & Ceiocemardeh, A. (2004). Effect of drought stress on soluble carbohydrate, chlorophyll and proline in four adopted wheat cultivars with various climate of Iran. *Iranian Journal Agriculture Science*, *35*, 753-763. (in Persian with English abstract).
3. Alvarez, J. A., & Ashraf, A. (2010). Role of vitamin D in insulin secretion and insulin sensitivity for glucose homeostasis. *International Journal of Endocrinology*, *61*(4), 337-48. https://doi.org/10.1155/2010/351385
4. Aly, A. A., Al-Barakah, F. N., & El-Mahrouky, M. A. (2018). Salinity stress promote drought tolerance of *Chenopodium Quinoa* Willd. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *49*(11), 1331-1343. https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1457160
5. AOAC. (1990). *Official Methods of Analyses*. Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC.
6. Aziz, A., Akram, N. A., & Ashraf, M. (2018). Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants under water deficit regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, *123*, 192-203. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.12.004
7. Badran, A. E., El-Sherebeny, E. A. M., & Salama, Y. A. (2015). Performance of some Alfalfa cultivars under salinity stress conditions. *Journal Agriculture Science*, *7*(10), 281-290. https://doi.org/10.5539/jas.v7n10p281
8. Bagheri, M. (2019). *Quinoa Agriculture Manual*. Ministry of Jihad for Agriculture, Seed and Plant Breeding Research Institute. 56 pages.
9. Bhargava, A., Shukla S., & Ohri, D. (2006). *Chenopodium quinoa*—An Indian perspective. *Industrial Crops and Products*, *23*, 73-87. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.04.002
10. Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2007). Effect of sowing dates and row spacing's on yield and quality components of quinoa (*Chenapodium quinoa*) leaves. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, *77*(11), 748-751. https://doi.org/10.3390/agriculture11050405
11. Bhargava, A., Shukla, S., Rajan S., & Ohri, D. (2007). Genetic diversity for morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm. *Genetics Resources and Crop Evolution*, *54*, 167-173. https://doi.org/10.1007/s10722-005-3011-0
12. Bieler, P., Fussell L. K., & Bidinger, F. R. (1993). Grain growth of *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. under well watered and drought- stressed conditions. *Field Crops Reserch*, *31*, 41-54. https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90049-S
13. Biglouei, M. H., Kafi Ghasemi, A., Javaher Dashti, M., & Esfahani, M. (2013). Effect of irrigation regimes on yield and quality of forage maize (KSC 704) in Rasht region in Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *15*(3), 196-206.
14. Bloch, D., Hoffman, C. M., & Marlandar, B. (2006). Impact of water supply on photosynthesis, water use and carbon isotope discrimination of sugar beet genotypes. *European Journal of Agronomy*, *24*(3), 218-225.
15. Blum, A., & Ebercon, A. (1981). Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat 1. *Crop Science*, *21*(1), 43-47. https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100010013x
16. Board, J. E., & Harville, B. G. (1996). Growth dynamics during the vegetative period affects yield of narrow-row, late-planted soybean. *Agronomy Journal*, *88*, 567-572. https:/doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800040012x
17. Boojang, H., & Fukai, S. (1996). Effects of soil water deficit at different growth stages on rice growth and yield under upland conditions.1: Growth during drought. *Field Crops Research*, *48*, 37-45. https://doi.org/10.1016/0378-4290(96)00039-1
18. Cabuslay, G. S., Ito, O., & Alejar, A. A. (2002). Physiological Evaluation of Responses of Rice (*Oryza sativa* L.) to Water Deficit. *Plant Science*, *163*(4), 815-827. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00217-0

19. Chamberlain, D. G., Thomas, P. C., Wilson, W., Newbold, C. J., & MacDonald, J. C. (1985). The effects of carbohydrate supplements on ruminal concentrations of ammonia in animals given diets of grass silage. *The Journal of Agricultural Science*, *104*(2), 331-340. https://doi.org/10.1017/S0021859600044002
20. Dagdelen, N., Yilmaz, E., Sezgin, F. & Gurbuz, T. (2006). Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypicum hirisutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey. *Agriculture. Water Management*, *82*(1), 63-85.
21. El-Kheir, M. S. A., Kandil, S. A., & Mekki, B. B. (1994). Physiological response of two soybean cultivars grown under stress conditions as affected by CCC treatment. Egypt. *Journal of Physiology Sciences*, *18*, 179-200. https://doi.org/10.3923/ajps.2009.536.543
22. English, M. (1990). Deficit irrigation. I. Analytical framework Journal of Irrigation and Drainage. E-ASCE, 116, 399-412. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1990)116:3(399)
23. English, M. J., Musick, J. T., & Murty, V. V. (1990). Deficit Irrigation. *In:* G.J. Hoffman, T.A. Towell and K.H. Solomon (Eds.) Management of Farm Irrigation Systems. St. Joseph, Michigan, United States of America, ASAE.
24. Eshghizadeh, H. R., Zahedi, M., Ashrafi, A., & Khajehpour, M. R. (2010). The effect of irrigation regime and plant density on growth and development, leaf moisture content and yield of sweet corn (K.S.C.404). *Journal of Applied Crop Research*, *88*, 45-53. (in Persian with English abstract).
25. Eyvazi, A. R., Mohammadi, S. A., Abdollahi, Sh., Hosseini Salkadeh, S. A., & Majidi Heravan, E. (2005). Effect of Soil Salinity on Morpho-Physiological Traits of Ten Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. *Journal of Agricultural Knowledge*, *16*(2), 171-184. (in Persian with English abstract)
26. FAO. (2011). Quinoa; An Ancient Crop to Contribute to World Food Security. Regional Office for Latin America and the Caribbean. 63p.
27. FAOSTAT. (2020). https://www.fao.org/faostat/en/
28. Fuentes, F., & Bhargava, A. (2011). Morphological analysis of quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *197*, 124-134. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00445.x
29. Garcia, M., Raes, D., & Jacobsen, S. E. (2003). Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. *Agriculture Water Management*, *60*, 119-134. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00162-2
30. Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Del Castillo, C., & Buytaert, W. (2006). Agro-climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano: A case study for quinoa. *Agriculture Forest Meteorology*, *139*, 399-412. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.08.018
31. Ghasemi Siani, E., Fallah, S., & Tadayyon, A. (2011). Study on Yield and Seed Quality of *Plantago ovata* Forssk., Under Different Nitrogen Treatments and Deficit Irrigation. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *27*(3), 517-528. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6392
32. Ghooshchi, F., Shirani Rad, A. H., Noormohammadi, Gh., & Hadi, H. (2010). Changes in Yield and Seed Yield Components of Rapeseed Cultivars in Optimum and Limited Irrigation Conditions. *Improvement Research (Environmental Stresses in Plant Sciences)*, *2*(1), 13-28. (in Persian).
33. Goldhamer, D. A., Salinas, M., Crisosto, C., Day, K. R., Soler, M., & Moriana, A. (2002). Effects of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on late harvest peach tree performance. *Acta Horticulturae*, *592*, 343-350. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.592.48
34. Hashemi Dezfouli, A., Koocheki, A., & Banayan, M. (1995). *Maximizing Crop Yields*. Jahad Daneshgahi of Mashhad Press, Mashhad, Iran (in Persian).
35. Hashemi Nia, S. M. (2004). *Water Management in Agriculture*. First Edition. Ferdowsi University of Mashhad Press. Mashhad, Iran. 536 Page. (in Persian).
36. Hassanpour, H., & Niknam, V. (2014). Effect of water deficit stress on growth and antioxidant enzyme activity of *Mentha pulegium* L. at flowering stage. *Journal of Plant Process and Function*, *3*(8), 25-34. (in Persian with English abstract).
37. Jackson, M. B. (1993). Are plant hormones involved in root-to-shoot communication? *Advances in Botanical Research*, *19*, 103-187.
38. Jacobsen, S. E., Liu, F., & Jensen, C. R. (2009). Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulturae*, *122*(2), 281-287.
39. Jakobsen, A. L. (2003). Effects of think aloud on translation speed, revision, and segmentation. *Benjamins Translation Library*, *45*, 69-96. https://doi.org/10.1075/btl.45.08jak
40. Jamali, S., Goldani, M., & Zaenodin, S. M. (2018). Investigation of the effect of periodic water stress on yield, yield components and water use efficiency of quinoa. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *13*, 1687-1697.
41. Jayme-Oliveira, A., Ribeiro Júnior, W. Q., Ramos, M. L. G., Ziviani, A. C., & Jakelaitis, A. (2017). Amaranth, quinoa, and millet growth and development under different water regimes in the Brazilian Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *52*(8), 561-571. https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000800001
42. Kafi, A. K. M., Ahmadalinezhad, A., Wang, J., Thomas, D. F., & Chen, A. (2010). Direct growth of nanoporous

Au and its application in electrochemical biosensing. *Biosensors and Bioelectronics*, *25*(11), 2458-2463. https://doi.org/10.1016/j.bios.2010.04.006
43. Kafi, R., Kwak, H. S. R., Schumacher, W. E., Cho, S., Hanft, V. N., Hamilton, T. A., & Kang, S. (2007). Improvement of naturally aged skin with vitamin A (retinol). *Archives of Dermatology*, *143*(5), 606-612. https://doi.org/10.1001/archderm.143.5.606
44. Khajepour, F., & Hosseini, S. A. (2012). Citric acid improves growth performance and phosphorus digestibility in Beluga (Huso huso) fed diets where soybean meal partly replaced fish meal. *Animal Feed Science and Technology*, *171*(1), 68-73. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.10.001
45. Khazaei, H. (2001). Improvement of sugarbeet (*Beta Vulgaris*) seed germination with water treatement.
46. Khazaei, H. (2002). *The effect of drought stress on yield and physiological characteristics of resistant and susceptible wheat cultivars and the introduction of the most appropriate drought resistance indices*. PhD Thesis in Crop Physiology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. https://doi.org/10.22077/escs.2017.360.1068
47. Khorshidi, M., Rahimzadeh, B., Mirhadi, M., & Normohamadi, Gh. (2002). Investigation of the effects of drought stress on potato growth stages. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *4*(1), 59-48.
48. Koutroubas, S. D., Papakosta, D. K., & Doitsinis, A. (2000). Water requirements for castor oil crop (*Ricinnus communis* L.) In a mediterranean climate. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *14*, 33-41. https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2000.00357.x
49. Lavini, A., Pulvento, C., d'Andria, R., Riccardi, M., Choukr, R., Allah, O. Belhabib. (2014). Quinoa's potential in the Mediterranean region. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *200*, 344-360. https://doi.org/10.1111/jac.12069
50. Lugojan, C., & Ciulca, S. (2011). Evaluation of relative water content in winter wheat. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, *15*(2), 173-177.
51. Matinfar, M., Matinfar, M., Mahjoor, M., Shiranirad, A. H., & Mohammadi, R. (2012). Effect of plant density on yield and yield components of rapeseed varieties (*Brassica napus*) in Qazvin. *Ecophysiology of Farm Crops*, *4*(24), 405-414. (in Persian with English abstract).
52. Morgan, J. M. (1977). Changes in diffusive conductance and water potential of wheat plants before and after anthesis. *Australian Journal of Plant Physiology*, *4*, 75-86.
53. Nazari Nasi, H., Jabbari, F., Azimi, M. R., & Nowruzian, M. (2012). Evaluation of the effect of drought stress on membrane stability, photosynthesis rate, relative water content and grain yield of four bean cultivars. *Iranian Journal of Crop Science*, *43*(3), 499-491. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2012.29045
54. Oya, T., Nepomuceno, A. L., Neumaier, N., Boucas Farias, J. R., Tobita, S., & Ito, O. (2004). Drought tolerance characteristics of Brazilian soybean cultivars evaluation and characterization of drought tolerance of various Brazilian soybean cultivars in the field. *Plant Production Science*, *7*(2), 129-137. https://doi.org/10.1626/pps.7.129
55. Prasad, T., & Yadav, D. S. (1990). Effect of irrigation and plant density on yield attributes and yield of green gram and black gram. *Indian Journal of Agronomy*, *35*, 99-151.
56. Premachandra, G. S., Saneoka, H., Fujita, K., & Ogata, S. (1992). Leaf water relations, osmotic adjustment, cell membrane stability, epicuticle wax load and growth as affected by increasing deficits in Sorghum. *Journal of Experimental Botany*, *43*, 156-176.
57. Rabbani, J., & Emam, Y. (2011). Response of grain yield of corn hybrids to drought stress at different stages of growth. *Journal of Production and Processing of Crop and Horticultural Products*, *1*(2), 78-65. https://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1390.1.2.5.0
58. Rabbani, J., & Emam, Y. (2011). Yield Response of Maize Hybrids to Drought Stress at Different Growth Stages. *Journal of Crop Production and Processing*, *1*(2), 65-78. (in Persian with English abstract).
59. Rao, K. G. (1987). *Water use and irrigation response to defoliated corn with various population*. Available from University Microfilms International 300 N. Zeeb Road, Ann Arbor, MI 48106, Order No. 8706243. Ph.D. Dissertation. 142p, 36 fig, 43 tab, 73 ref, append.
60. Razzaghi, F., Plauborg, F., Jacobsen, S., Jensen, C. R., & Andersen, M. N. (2012). Effect of nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. *Agricultural Water Management*, *109*, 20-29. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.02.002
61. Risi, J., & Galwey, N. W. (1991). Effects of sowing date and sowing rate on plant development and grain yield of quinoa (*Chenopodiumquinoa*) in a temperate environment. *Journal of Agricultural Science*, *117*, 325-332. https://doi.org/10.17557/tjfc.485617
62. Rushdie, M., Heidari Sharifabad, H., Karimi., Noor Mohammadi, Q., & Dervish, F. (2006). Effects of dehydration stress on yield and grain yield components of sunflower cultivars. *Special Issue of Agricultural Sciences Research*, *12*(1), 109-122. https://doi.org/10.22055/ppd.2022.32122.1862
63. Sairam, R. K., & Srivastava, G. C. (2001). Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.): variations in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *186*(1), 63-70. https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2001.00461.x

64. Salehi, M., & Dehghani, F. (2019). *Guide to planting, holding and harvesting quinoa in saline conditions*. Ministry of Jihad Agriculture, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Deputy for Extension. 96 pages. https://doi.org/10.22077/escs.2021.3287.1837
65. Samadzadeh, A. R., Zamani, Gh., & Fallahi, H. R. (2019). Possibility of quinoa production under South-Khorasan climatic condition as affected by planting densities and sowing dates. *Journal of Agricultural Applied Research, 33*(1), 126.104-82. https://doi.org/10.22092/aj.2020.125793.1392
66. Sandha, T. S., Bhllav, H., Chema, S., & Gill, A. (1977). Variability and interrelationship among grain protein yield and yield components in mungbeen. *Indian Journal Agriculture Reserch, 30,* 871-882.
67. Sarmadnia, Gh. H., & Koocheki, E. (1991). *Crop Physiology*. Jehade-Daneshgahi of Mashhad Publication. (in Persian).
68. Sarmadnia, Gh. H., & Kouchaki, A. (1991). *Crop Physiology*, Mashhad University Jihad Publications. 467 p. https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100020034x
69. Sharma, B., Molden, D., & Cook, S. (2015). *Water use efficiency in agriculture: Measurement, current situation and trends*. PP 39-64 in P. Drechsel, P. Heffer, H. Magen, R. Mikkelsen and D. Wichelns eds. Managing Water and Fertilizer for Sustainable Agricultural Intensification. Paris, France: International Fertilizer Industry Association (IFA), Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI), Georgia, USA: International Plant Nutrition Institute (IPNI), Horgen, Switzerland: International Potash Institute (IPI). https://doi.org/10.22004/ag.econ.208411
70. Shibairo, S. I., Upadhyaya, M. K., & Toivonen, P. M. A. 1998. Influence of prearrest water stress on postharvest moisture loss of carrot (*Daucus carota* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *73*, 347-352. https://doi.org/10.1080/14620316.1998.11510984
71. Soleimanipour, Sh., Shirani Rad, A. H., Madani, H., Rezaie Zad, A., & Fareghi, Sh., (2009). Study the time effect of irrigation outage on agronomic traits of cultivars of winter rapeseed. *New Findings in Agricultre, 3*(3), 263-274. (in Persian with English abstract).
72. Soleimanpour, S., Shiranirad, A. H., Madani, H., Rezaeizad, A., & Fareghi, S. (2009). Investigation the Effect of Water Deficit on Agronomical Characteristics and Growth Indices of Winter Rapeseed Cultivars. *New Finding in Agriculture*, *3*(3), 263-274. (in Persian with English abstract).
73. Spehar, C. R., & Rocha, J. E. S. (2009). Effect of sowing density on plant growth and development of quinoa, genotype 4.5, in the Brazilian savannah highlands. *Bioscience Journal*, *25*, 53-58. https://doi.org/10.22092/sppi.2021.123894
74. Wilson, H. D., & Heiser, C. B. (1979). The origin and evolutionary relationships of'Huauzontle, (*Chenopodium nuttalliae* Safford), domesticated chenopod of Mexico. *American Journal of Botany*, *66*(2), 198-206. https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1979.tb06215.x
75. Winter, S. R., Musick, J. T., & Porter, K. B. (1988). Evaluation of Screening Techniques for Breeding Drought – Resistance Winter Wheat. *Crop Science*, *28*, 512-516. https://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X002800030018x
76. Yadav, R., Gayadin, S., & Jaiswal, A. K. (2001). Morpho-physiological changes and variable yield of wheat genotypes under moisture stress conditions. *Indian Journal of Plant Physiology*, *6*, 390-394.
77. Yerardi, R. S. (2007). Biobehavioral nicotine dependence in persons with schizophrenia (Doctoral dissertation, The Ohio State University).
78. Zhang, H., & Oweis, T. (1999). Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agriculture Water Manage, 38*, 195-211. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(98)00069-9